

# Phasenmehrwege-Detektierung in GNSS-Referenzstations- netzen

Lambert Wanninger

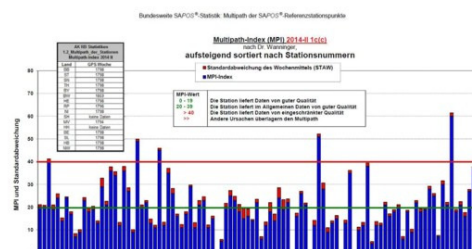
9. Workshop der Auswerterinnen und Auswerter des  
Koordinatenmonitorings von SAPOS und DREFonline,  
**Hannover, 14. März 2018**

## Stärke der Phasen-Mehrwegeeinflüsse ...

### ... ist Qualitätskriterium für GNSS-Referenzstationen

Stationeigenschaft → Phasen-Mehrwegedetektierung

### ... kann durch Stationsbetreiber beeinflusst werden

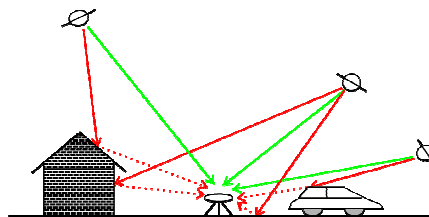


→ große Qualitäts-  
unterschiede  
zwischen Stationen

Abbildung 2: Ergebnis der Statistik „Multipath-Index (MP-Index) 2014, je SAPOS<sup>®</sup>-Referenzstation eine Säule  
(aus SAPOS-Qualitätsbericht 2015)

## Mehrwegeinflüsse

Empfänger verarbeiten Mischsignal aus direktem und reflektierten Signalen



### Eigenschaften der Phasenmehrwegeinflüsse

- Messabweichungen bis zu wenige cm, verstärkt in Linearkombinationen
- schon bei kleinen Umweglängen (cm)
- Perioden von Minuten (Fernfeld) bis Stunden (Nahfeld)

### Codemehrwegeinflüsse haben z.T. andere Eigenschaften

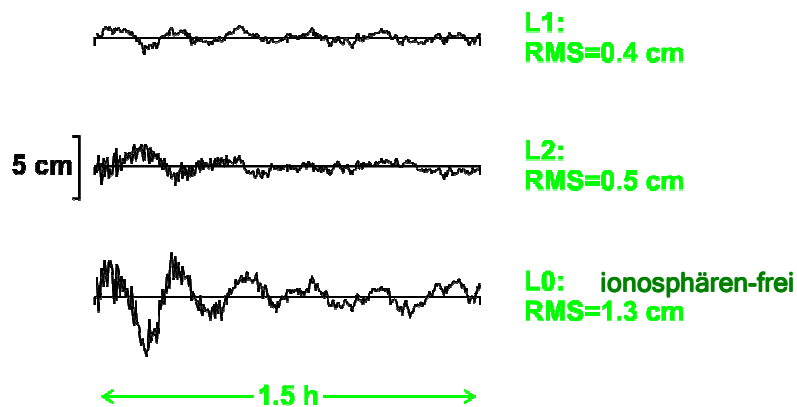
- Codemehrwege um Faktor 100 größer als Phasenmehrwege
- leicht zu erkennen (durch Vgl. mit Phase)
- max. bei Umweglängen von 10 m → andere Reflektoren  
→ keine Rückschlüsse von Code- auf Phasenmehrwege möglich

Lambert Wanninger, TU Dresden

3

## Phasenmehrwegeinflüsse

**Beispiel:** Doppeldifferenzresiduen, kurze Basislinie, aufsteigender Satellit auf einer Station betroffen, Fernfeld-Mehrwege (d.h. Umweglänge > 1 m, Perioden ~15 Min.)



Lambert Wanninger, TU Dresden

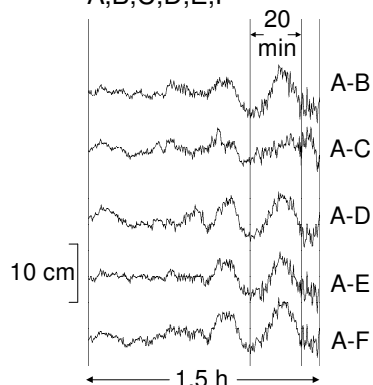
4

## Phasenmehrwege-Detektierungsalgorithmus

- in regionalen Referenzstationsnetzen
- Separation von wenig gestörten und stark gestörten Signalen
- Analyse der Doppeldifferenz-Residuen der ionosphären-freien Linearkombination von Zwei-Freq.-Phasenmessungen
- Identifikation über starke Variationen der Residuen in Datenstücken von 15 – 20 Minuten Dauer (Fernfeld-Mehrwege)

### Analyse der L0-Doppeldifferenz-Residuen

Beispiel mit 6 Stationen A,B,C,D,E,F



Lambert Wanninger, TU Dresden

5

## Phasenmehrwege-Detektierungsalgorithmus

Korrelationsanalyse der Residuen zur Identifikation der betroffenen Station

Basislinie	Std.abw. [mm]	Korrelationskoeffizienten			
		A-C	A-D	A-E	A-F
A-B	31	.66	<b>.95</b>	<b>.94</b>	<b>.96</b>
A-C	14	-	.73	.67	.70
A-D	27	-	-	<b>.94</b>	<b>.97</b>
A-E	26	-	-	-	<b>.93</b>
A-F	30	-	-	-	-

### Detektierung:

große Std.abw.  
→ Mehrwege detektiert

### Lokalisierung:

Mehrheit der Korrelationskoeffizienten > 0.8  
→ Mehrwegeefflüsse auf Station A

### Ergebnisse unbeeinflusst von:

- Epochenabstand der Beobachtungen (1s ... 30 s)
- Mehrdeutigkeitsfixierung: float / fixed
- Ephemeriden: *broadcast* / präzise
- Antennenkorrekturen: nicht korrigiert / korrigiert

Lambert Wanninger, TU Dresden

6

## Softwarerealisierungen

### WaSoft/Multipath

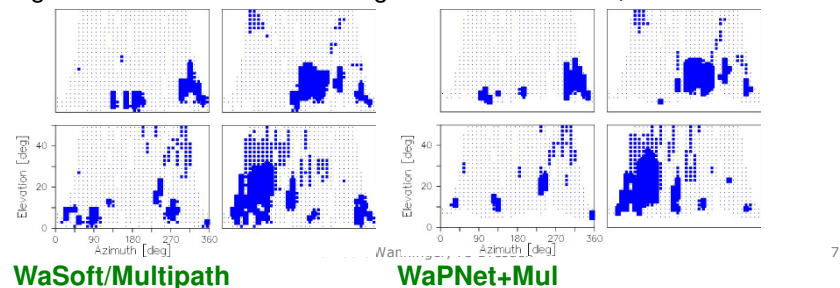
für GPS  
RINEX 2

### WaPNet+Mul

für GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, ...  
RINEX 2 / 3

- Unterschiede in der Datenaufbereitung
- identischer Detektierungsalgorithmus
- Mehrwegekarten

Vgl. für identische Beobachtungsdaten: 4 Stationen, GPS

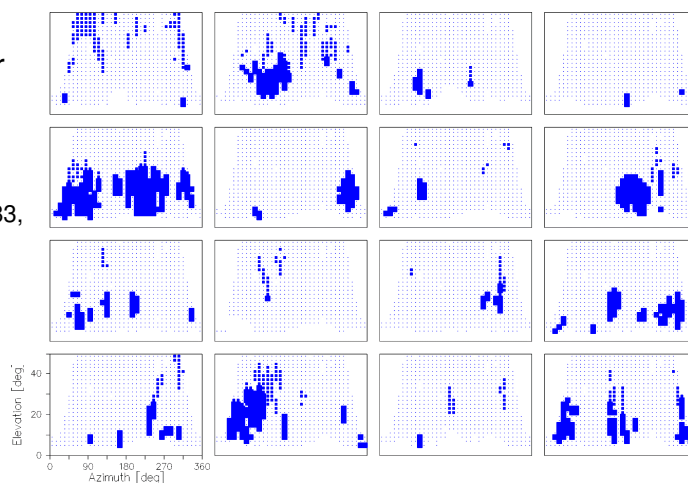


7

## Ergebnisse als Mehrwegekarten

**Beispiel:**  
16 Thüringer  
SAPOS-  
Stationen

GPS-Woche 1983,  
Trimble NetR9,  
GPS



**Punkte:** keine erkennbaren Mehrwegeinflüsse  
**blaue Flächen:** mehrwegebeeinflusste Signale

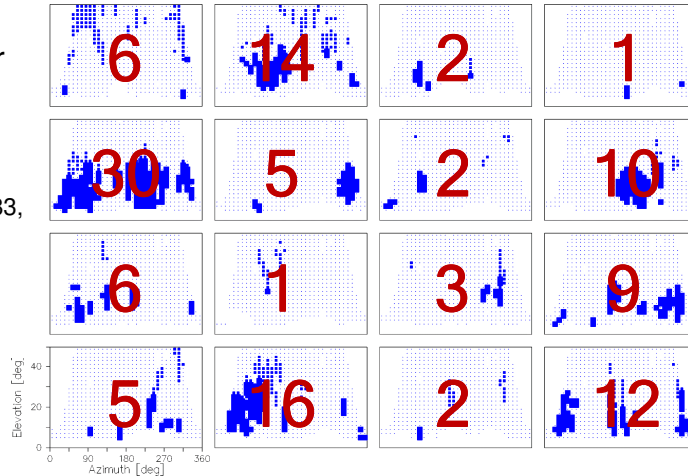
8

## Indexwerte

### Beispiel:

16 Thüringer  
SAPOS-  
Stationen

GPS-Woche 1983,  
Trimble NetR9,  
GPS



Lambert Wanninger, TU Dresden

9

## Bei der Analyse zu beachten

### Stationen mit starker Mehrwegebeeinflussung verdecken Mehrwegeeffekte auf andere Stationen des Netzes

- iterative Berechnung
- Neuberechnung ohne stark gestörte Stationen

### Beispiel:

**Erstberechnung** Netz A,B,C,D,E,F:

Station B mit sehr großem Indexwert (z.B. > 25),

Stationen A,C,D,E,F mit kleineren Indexwerten

→ **Ergeb. für B**

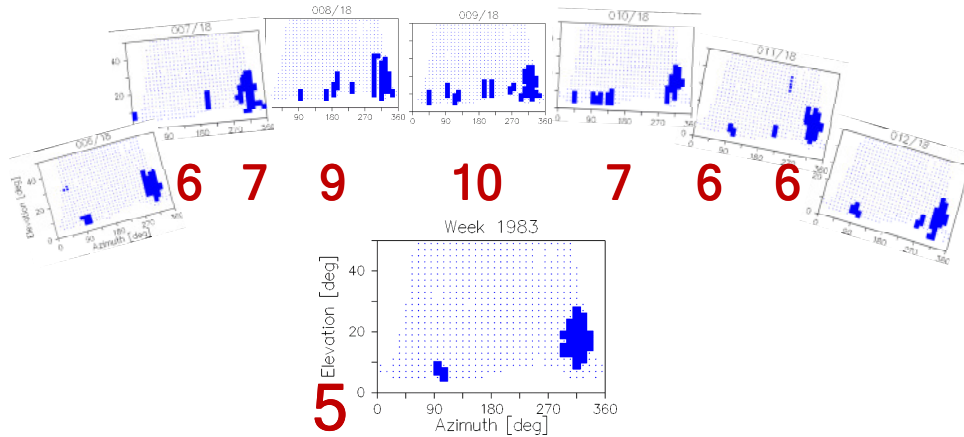
**Neuberechnung** Subnetz A,C,D,E,F → **Ergeb. für A,C,D,E,F**

Lambert Wanninger, TU Dresden

10

## Wochenlösungen

### Zusammenfassung von Tagesergebnissen zu Wochenlösungen: „Mehrheitsentscheidung“



Lambert Wanninger, TU Dresden

11

## Einflussfaktoren

### Einflussfaktoren auf Mehrwegestärke

- Stationsumgebung: Reflektoren, exakte Antennenposition
- Antenne: Mehrwegeempfindlichkeit
- Empfänger: Messverfahren
- verwendete Signale/Frequenzen
- Zeitvariabilität durch Feuchtigkeit, stehendes Wasser, Schnee/Eis
- Zeitvariabilität der Satellitenorbits / -spuren

### Einflussfaktoren auf Detektierungsalgorithmus

- Beobachtungsdauer (z.B. sieben 24h-Auswertungen)
- Anzahl Satelliten (weniger Sat. → weniger detektierter Mehrwege)
- i.d.R. geringer Einfluss der Stationsauswahl
- Fehl-Ergebnisse bei Antennen/Empfängerfehlfunktionen, extremen troposphärischen Ereignissen (durchziehende Gewitterfronten)

Lambert Wanninger, TU Dresden

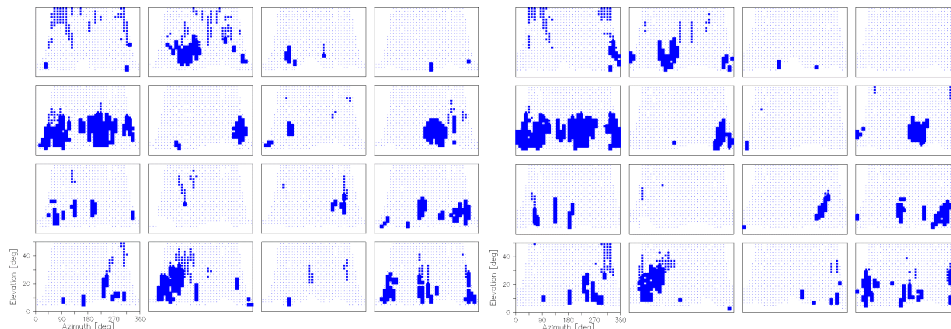
12

## Vergleich GPS / GLONASS

**GPS, 31 Sat., L1/L2**

**GLONASS, 23 Sat., G1/G2**

16 Thüringer SAPOS-Stationen, Trimble NetR9, GPS Woche 1983



**gute Übereinstimmung der unabhängigen Ergebnisse**

(GLONASS-Indexwerte meistens etwas kleiner als GPS-Indexwerte,  
u.a. wg. geringerer Satellitenanzahl)

Lambert Wanninger, TU Dresden

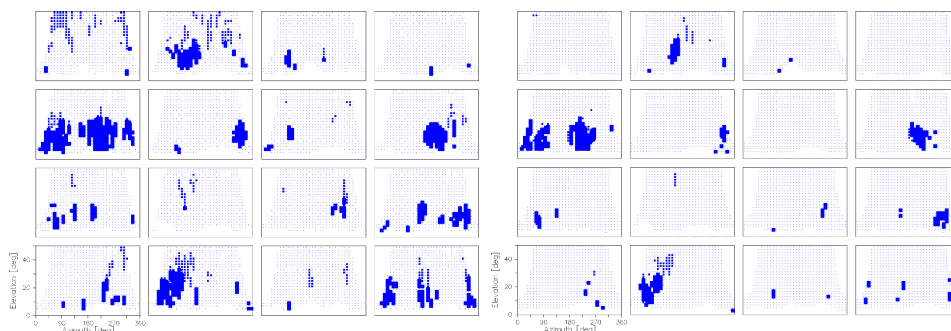
13

## Vergleich GPS / Galileo

**GPS, 31 Sat., L1/L2**

**Galileo, 14 Sat., E1/E5**

16 Thüringer SAPOS-Stationen, Trimble NetR9, GPS Woche 1983



**gute Übereinstimmung der unabhängigen Ergebnisse**

(weniger Mehrwege-Detektierung mit Galileo  
wg. deutlich geringerer Satellitenanzahl)

Lambert Wanninger, TU Dresden

14

## Nutzung der Detektierungsergebnisse

### (a) Verbesserung der Station

z.B. veränderte Antennenplatzierung

### (b) Gewichtung der Beobachtungen

mehrweegebelastete Beobachtungen werden abgewichtet  
bei VRS-Berechnung, bei Basislinienberechnung  
→ aber: keine Standards zur Weitergabe von Beobachtungsgewichten

## Detektierung → Kalibrierung ?

**Im Prinzip möglich, aber Mehrweegeinflüsse selbst auf Referenzstationen nur begrenzt zeitlich stabil**

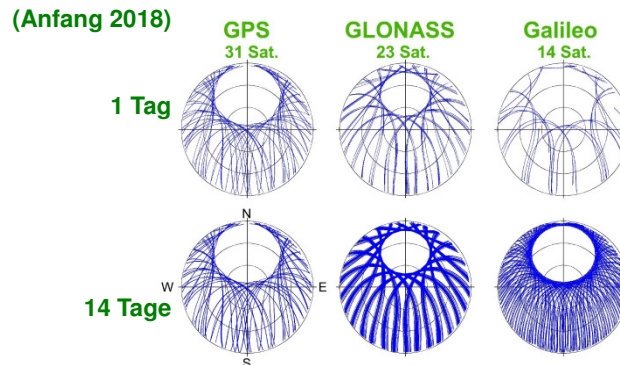
Zeitvariabilität durch Feuchtigkeit, stehendes Wasser, Schnee/Eis



Wie kalibrieren in Abhängigkeit von diesen Einflussfaktoren?



## Zeitvariabilität der Satellitenspuren



Satellitenspuren wiederholen sich nominell alle

GPS:	1 Tag	Detektierungslücken
GLONASS:	8 Tage	kleinstes Nordloch, Detektierungslücken
Galileo:	10 Tage	sehr gute Gesamtabdeckung
BeiDou-3:	7 Tage	sehr gute Gesamtabdeckung

Lambert Wanninger, TU Dresden

17

## Standardisierte Phasen-Mehrwegedetektierung

### Kriterien

### Beispielfestlegungen

<b>Beobachtungsdauer</b>	7 x 24 h, Tagesergebnisse zusammenfassen
<b>Satellitensystem</b>	GPS (in Zukunft: Galileo, BeiDou, alle ??)
<b>Signale</b>	L1/L2 (in Zukunft L1/L5 ?)
<b>Subnetzgröße</b>	5-6 Stationen
<b>iterative Berechnung</b>	wenn einzelne Stationen Indexwert >25 haben
<b>Indexwert</b>	kein Mittelwert der Tagesindexwerte, sondern Neuberechnung für Wochenergebnis

Lambert Wanninger, TU Dresden

18

## Zusammenfassung + Ausblick

**Phasenmehrwege-Detektierung** liefert Antworten auf:  
welche Stationen sind wenig/stark betroffen?  
welches sind die dominanten Reflektoren?

### **Multi-GNSS-Ergebnisse**

GPS- / GLONASS- Ergebnisse stimmen gut überein,  
Galileo-Ergebnisse (momentan nur 14 Sat.) auch sehr ähnlich

### **nach Fertigstellung von Galileo/BeiDou**

Detektierungsalgorithmus und Indexwertdefinition  
sollten überdacht werden